

Винахід відноситься до області енергомашинобудування, виробництва і експлуатації посудин для зберігання газів, корпусів випробувальних камер високого тиску, енергетичних і хімічних реакторів, а також інших відповідальних конструкцій. Він може бути використаний для підвищення несучої здатності і довговічності конструкцій при наявності в них тріщиноподібних дефектів.

Можливим об'єктом використання винаходу можуть бути відповідальні посудини тиску, перш за все, корпуси атомних енергетичних реакторів.

Існує спосіб підвищення стійкості до поширення тріщин окриженого в процесі експлуатації матеріалу корпусу (ферритноперлітні сталі типу 15Х2МФА і 15Х2НМФА), який включає операції нагрівання корпусу до температури, що перевищує температуру його експлуатації, витримування при цій температурі і охолодження [Practical Experience

on Annealing to Extend PWR Reactor Vessels Life Time / Dragunov Yu. G., Fjodorov V.G., Getmanchuk A. V. Rogov M.F. // Trans. of Int. Conf. on Fracture Mechanics In Reactor Technology, 18-23 July, 1991, Tokio, Japan, Vol.F, pp. 267-271].

Описаний спосіб дозволяє підвищити крихку міцність матеріалу конструкції, окриженого внаслідок нейтронного опромінення при експлуатації, за рахунок зниження його межі текучості. Однак, опір крихкому руйнуванню при цьому зменшується з кожним наступним відпалом. Крім того, в деяких сталях (наприклад, в сталі 15Х2НМФА) при відпалі можливе ще більше окриження, що приводить до зниження опору крихкому руйнуванню.

Найбільш близьким до запропонованого рішення по технічній суті і результату, що досягається, є спосіб підвищення стійкості елементу конструкції до поширення тріщин, який полягає у нагріванні і подальшому охолодженні конструкції [Авт. св. по заявці № 4952694/29/048468, 10.06.91].

Описаний спосіб дозволяє підвищити крихку міцність конструкції за рахунок затуплення вершини тріщини методом наведення в її околі температурних напружень, які перевищують межу текучості матеріалу. Однак, для реалізації цього методу необхідно точно знати місце знаходження, форму і розміри тріщини, а також мати складне і дороге обладнання. Крім того, для реалізації такого способу необхідно зупинити реактор і провести демонтаж внутрішнього обладнання, що вимагає значних витрат часу і коштів.

Таким чином, рівень техніки за доступними авторам патентно-інформаційними матеріалами не дозволяє вирішити задачу: суттєво підвищити надійність і довговічність конструкцій, зокрема корпусів атомних енергетичних реакторів, з використанням їх робочих режимів.

В основу винаходу поставлено задачу підвищення стійкості конструкції до поширення тріщин шляхом проведення спеціальної технологічної обробки, яка полягає у статичному навантаженні конструкції з одночасним накладанням циклічної складової, що дозволяє забезпечити її надійність і довговічність.

Спосіб що пропонується, як і відомий спосіб підвищення стійкості конструкції до поширення тріщин включає операції нагрівання до даної температури і охолодження, але, згідно винаходу, після нагрівання проводиться технологічна обробка конструкції, яка полягає в її статичному навантаженні з одночасним накладанням циклічної складової до рівня, коли сумарне навантаження досягне максимально допустимого для цієї конструкції при даній температурі. При цьому метод навантаження може бути тим самим, що і в робочому режимі.

Ще однією особливістю запропонованого способу є те, що операції нагрівання, технологічної обробки і охолодження виконують до введення конструкції в експлуатацію.

На кресленні представлена залежність величини розкриття вершини тріщини від коефіцієнту інтенсивності напружень при статичному навантаженні і при статичному навантаженні з накладанням циклічної складової.

Згідно запропонованого методу конструкцію нагрівають, навантажують статичним навантаженням з одночасним накладанням циклічної складової і охолоджують. Температурно-силові режими технологічної обробки вибирають виходячи з того, що крихка міцність конструкції залежить від величини розкриття вершини тріщини, якої вдається досягти [A Promising Method for Enhancing Resistance of Pressure Vessels to Brittle Fracture / V.V. Pokrovsky, V.T. Troshchenko, V.Yu. Podkozin at all // Int. J. Pres. Ves. & Piping, 58, 1994, pp. 9-24]. Розкриття вершини тріщини при однаковому рівні навантаження тим більше, чим менше межа текучості матеріалу. В свою чергу, межа текучості знижується при підвищенні температури.

Таким чином, більшого підвищення крихкої міцності матеріалу вдається досягти при вищій температурі технологічної обробки.

Після витримки для вирівнювання температури, конструкцію статично навантажують з одночасним накладанням циклічної складової.

Накладання циклічної складової ініціює циклічну повзучість матеріалу в вершині тріщини, що приводить до її більшого затуплення, отже, і до більшого, порівняно з статичним навантаженням, підвищення крихкої міцності конструкції. З іншої сторони, запропонований спосіб дозволяє досягти такого ж рівня розкриття вершини тріщини, що ? при статичному навантаженні, при суттєво нижчому рівні сумарного навантаження (дивись малюнок), що робить можливим проведення технологічної обробки з використанням робочих режимів конструкції (наприклад при проведенні гідроопресовування).

Найбільш ефективною є обробка у відповідності з запропонованим способом конструкцій, які ще не були в експлуатації. Це обумовлено тим, що при експлуатації, наприклад, атомних енергетичних реакторів під впливом нейтронного опромінення відбувається підвищення межі текучості матеріалів їх корпусів (окриження). Ефективність технологічної обробки залежить від того, якої величини розкриття тріщини вдається досягнути при її проведенні. Оскільки більше розкриття вершини тріщини досягається при більш низькій межі текучості матеріалу, то найкращі результати дає обробка конструкції, метал якої має найбільш низьку межу текучості, тобто до введення її в експлуатацію.

Для досягнення більшого опору крихкому руйнуванню радіаційно окриженого в процесі експлуатації матеріалу конструкції, перед проведенням технологічної обробки згідно запропонованого способу, можливе використання відпалу для зниження його межі текучості.

Приклад 1. Попередньо виготовляли, у відповідності з ГОСТ 25.506 - 85, компактні зразки товщиною 25 мм

з матеріалу, що відповідає за хімічним складом, структурою та механічними властивостями матеріалу корпусу реактора (сталь 15Х2МФА, $\sigma_{0,2} = 780$ МПа). На зразках вирощували вихідну втомну тріщину, у відповідності з ГОСТ 25.506-85, з використанням електрогідравлічної машини STM-100 кН. Попереднє навантаження зразків проводили при температурі 623 К, а випробування на в'язкість руйнування при статичному навантаженні - при температурі 293 К. При цьому частину зразків попередньо навантажували статичним навантаженням, а другу частину - статичним навантаженням з одночасним накладанням циклічної складової з амплітудою $\Delta K = 14$ МПа VM і частотою $f = 25$ Гц. Сумарний рівень попереднього навантаження в обох випадках складав $K_{T\text{ax}} = 120$ МПа VM.

Випробування на в'язкість руйнування показало, що в зразках, попередньо перевантажених статичним навантаженням, в'язкість руйнування збільшилась з 81 МПа vm до 150 МПа vm, а в зразках, підданих статичному навантаженню з одночасним накладанням циклічної складової - до 168 МПа VM.

Приклад 2. Попередньо з сталі 15Х2МФА у двох структурних станах ($\sigma_{0,2} = 1100$ МПа і $\sigma_{0,2} = 780$ МПа) виготовляли компактні зразки, товщиною 25 мм, вирощували на них вихідну втомну тріщину при 293 К і піддавали попередньому перевантаженню з накладанням циклічної складової при 623 К так само, як в прикладі 1. Після цього зразки випробували на в'язкість руйнування при статичному навантаженні при температурі 293 К. Випробування показали, що для сталі з $\sigma_{0,2} = 780$ МПа, в якій досягається більше затуплення тріщини, в'язкість руйнування підвищилась до 168 МПа vm, в той час як для сталі з $\sigma_{0,2} = 1100$ МПа - лише до 132 МПа МЧ.

Приклад 3. Попередньо у заготовках з сталі 15Х2МФА ($\sigma_{0,2} = 1100$ МПа) за допомогою відпалу зменшували межу текучості до $\sigma_{0,2} = 780$ МПа. Після цього виготовляли компактні зразки, товщиною 25 мм, згідно ГОСТ 25.506-85. Потім вирощували вихідну втомну тріщину і проводили випробування з застосуванням статичного перевантаження з накладанням циклічної складової так само, як в прикладі 1. В'язкість руйнування зразків, підданих відпалу, підвищилась до 170 МПа VM, в той час як в контрольних зразках (без відпалу) в'язкість руйнування підвищилась лише до 134 МПа VM.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє вирішити задачу - досягти більшого, порівняно з відомими способами опору крихкому руйнуванню корпусних конструкцій, наприклад, корпусів атомних енергетичних реакторів, за рахунок проведення більш ефективного режиму технологічної обробки.

Крім того, запропоноване рішення дозволяє підвищувати опір крихкому руйнуванню корпусних конструкцій шляхом проведення їх технологічної обробки з застосуванням робочих схем і режимів навантаження.

